

GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

CONSEJERIA DE INFRAESTRUCTURAS Y POLITICA TERRITORIAL

Dirección General
de Transportes
y Telecomunicaciones

FUNICULAR DE BULNES (CABRALES)

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Noviembre 2001

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

1. CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL

El túnel para el acceso por funicular al pueblo de Bulnes tiene un trazado básicamente rectilíneo, estando su boca inferior situada en Poncebos junto al cruce de la carretera de Sotres, y su boca superior en Bulnes, en las cercanías del denominado Barrio de la Villa o Bulnes de Abajo. Sus características principales son:

- Longitud aproximada: 2.220 m
- Pendiente longitudinal: 18,186 % (10,3°)

El túnel está diseñado para albergar un funicular de doble sentido con vía única así como su infraestructura. Ambas estaciones, la inferior y la superior, y la estación motriz, están construidas dentro del mismo túnel. En el punto medio del recorrido existe una "zona de cruce" de aproximadamente 90 metros, donde la sección se ensancha para posibilitar el cruce entre los funiculares de subida y bajada.

El túnel, excavado con máquina tuneladora, atraviesa las "calizas de montaña" de los Picos de Europa, formación muy competente que permite que, salvo en las estaciones, emboquilles, y algunas zonas singulares, se pueda utilizar en el túnel un sostenimiento muy ligero a base de bulones o incluso prescindir del mismo en gran parte de él. En las estaciones, situadas junto a los emboquilles, ha sido en cambio necesario efectuar una importante obra de sostenimiento a base de paraguas de micropilotes, chapa Bernold, hormigón bombeado, y gunita.

Salvo en las estaciones, no se ha dispuesto ningún revestimiento en el túnel, quedando la roca desnuda a lo largo del mismo, a excepción de las zonas donde se producen entradas de agua, en las que se han colocado láminas impermeables para conducir dicha agua a las cunetas. Estas láminas son de material ignífugo.

2. SECCIONES TIPO

2.1. Sección tipo del túnel

La sección de excavación del túnel es circular de 4,35 m de diámetro. Los parámetros geométricos más destacables de la sección son los siguientes:

- Sección de excavación: 15,90 m²
- Sección mínima libre: 14,93 m²
- Anchura máxima libre: 4,50 m

A lo largo de todo el túnel se ha dispuesto una pasarela de servicio y emergencia de 60 cm de anchura, construida con parrilla metálica, y situada a la altura del piso de los vagones del funicular (Ver Figura 1).

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

2.2. Sección de la zona de cruce

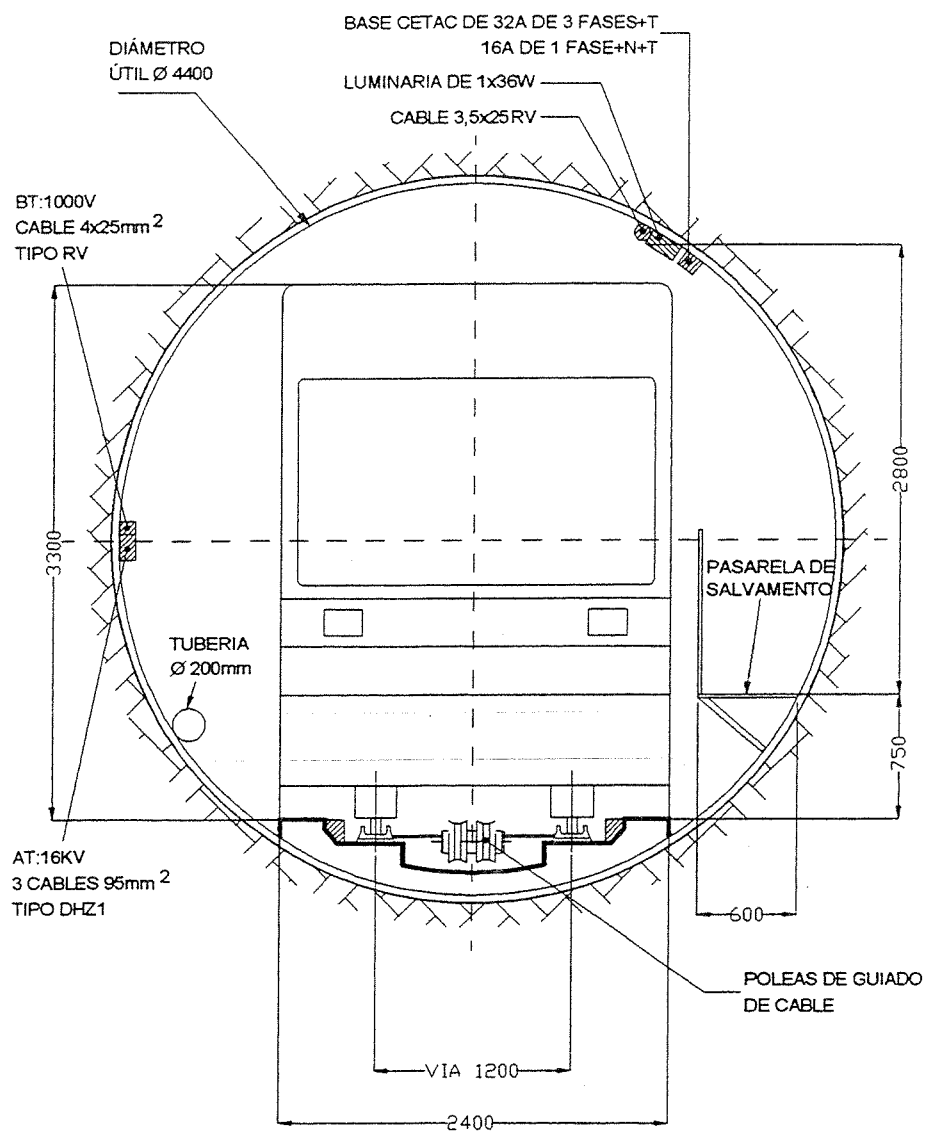
En el punto medio del trazado, y en una longitud de 90 m, se ha ampliado la sección tipo antes descrita para permitir el cruce de los dos funiculares.

La sección de excavación de esa zona es policéntrica, con dos centros y dos radios, con contrabóveda en solera, lo que le confiere una geometría aproximadamente elíptica. Los parámetros geométricos más destacables de esta sección son los siguientes:

- Sección de excavación: 33,06 m²
- Sección libre: 28,00 m²
- Anchura máxima libre: 7,26 m
- Altura máxima libre, desde la solera: 4,43 m
- Anchura de la acera de emergencia: 60 cm

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA



SECCIÓN TIPO - VISTA DESDE PONCEBOS

ESCALA 1:40

COTAS EN mm

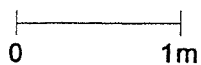


Figura 1: Sección Tipo del túnel

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

2.3. Sección tipo de las estaciones

En ambas estaciones hay que diferenciar la zona de vestíbulo y la de andén.

- En la sección del vestíbulo, se han instalado las oficinas, servicios, taquillas, etc. Tiene las siguientes características:
Sección de excavación: 55,48 m²
Anchura máxima libre: 8,70 m
Altura máxima libre, desde la losa de forjado de vestíbulo: 5,20 m
- La sección de andén tiene la misma pendiente que el funicular (10,3°) y sus dimensiones principales son:
Sección de excavación: 55,48 m²
Anchura máxima libre: 8,70 m
Altura máxima libre, desde la solera: 6,65 m
Anchura de los andenes (a cada lado): 3,10 m

En la estación de Poncebos se ha dispuesto un foso bajo la vía para mantenimiento del funicular de 2,50 m de ancho y una profundidad de 2,41 m, mientras que en la de Bulnes existe una cámara bajo el nivel de la estación que sirve como sala de máquinas y tiene unos 6 m de largo por 6 de ancho, con 3,8 m de profundidad.

3. VENTILACIÓN

Se trata de un túnel lineal en pendiente, sin chimeneas ni galerías de ventilación auxiliares ni ningún tipo de ventilación forzada. Toda la renovación de aire se producirá por tanto por efecto de la ventilación natural, y a través del propio túnel.

En condiciones normales, la diferencia de presión entre las estaciones de Poncebos y Bulnes generaría una corriente natural ascendente.

Sin embargo, las condiciones de ventilación natural en la zona son muy variables, dado lo estrecho de los valles y las notables diferencias de insolación que se pueden dar en muchas épocas del año entre el valle y la montaña. De hecho, se tiene la experiencia durante la ejecución de la obra, de que la ventilación a menudo se invertía de sentido a ciertas horas del día.

En el Anexo 4 de este Informe se adjunta un cálculo de la ventilación natural en el túnel. Este cálculo es una aproximación teórica en función de las características geométricas de la instalación y de la diferencia de peso específico del aire entrante y el saliente en el túnel. Esta diferencia proviene principalmente de la desigualdad en la temperatura entre ambas estaciones.

Del cálculo realizado se puede estimar que para una variación de temperaturas de 3 a 6 °C entre ambas bocas, se obtendría teóricamente un caudal de aire, debido a la ventilación natural, del orden de 5 a 7,5 m³/s. Valores que corresponden a una velocidad del aire en el túnel de 1,2 a 1,8 Km/h (ver Anexo 4).

Esta corriente será normalmente ascendente, pero puede ser descendente en situación de inversión térmica (es decir, si la temperatura en Bulnes es más alta que en Poncebos), lo cual ocurre con cierta frecuencia como ya se ha indicado anteriormente. En el Anexo 4 se incluye un gráfico que ilustra la variación de la ventilación según la variedad de situaciones posible.

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Esta ventilación, que es admisible desde el punto de vista de la IOS-98, dada la baja densidad de tráfico prevista en el túnel, presenta algunos problemas a la hora de la evacuación de los humos de un hipotético incendio, máxime cuando ambas estaciones terminales son subterráneas y están incluidas dentro del circuito de ventilación. En este sentido, *las medidas de seguridad deben ser sobre todo de tipo preventivo, tratando de eliminar todas las posibles causas de incendio (focos de incendio, materiales inflamables, ...) e instalando un sistema de detección precoz de incendio*

4. FUNICULAR

4.1. Características técnicas

Se trata de un funicular de doble efecto tirado por cable, accionado por medio de una polea situada en la estación superior (Bulnes).

Los parámetros más importantes de la instalación son:

- Longitud del recorrido (aprox.): 2227 m
- Diferencia de altitud: 402 m
- Pendiente: 10,3 °
- Altitud estación inferior Poncebos: 183 m
- Altitud estación superior Bulnes: 585 m
- Velocidad de marcha (máxima): 6 m/s
- Tiempo de recorrido teórico: 433 s

La vía tiene un ancho de 1200 mm y está compuesta por dos carriles de perfil normalizado de 20 Kg/ml. Los carriles van fijados sobre piezas prefabricadas de hormigón armado cuya forma está adaptada a la sección del túnel y que recubren la solera del mismo en su totalidad.

Está previsto que la vía sea engrasada, para reducir el ruido, el consumo de energía, y el desgaste del material.

4.2. Modos de servicio

La previsión actual es que los pasajeros de los dos vagones viajen siempre sin acompañante, realizándose el gobierno del funicular desde el puesto de mando situado en la estación de Bulnes (existe un puesto de mando alternativo en la estación de Poncebos para mantenimiento y para casos de emergencia).

El modo de servicio puede ser automático o manual:

a) Modo Automático

En este modo la marcha del funicular se regula según un programa de ciclos de viaje ajustado previamente, a través de un sistema automático compuesto por distintos PLCs. De esta forma, una vez dada la orden de marcha por el maquinista situado en el puesto de mando, el funicular acelera y decelera automáticamente en las zonas de salida y entrada de las estaciones, manteniendo constante su velocidad en el resto del recorrido.

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

b) Modo Manual

En este caso el control de la velocidad y aceleración o deceleración del funicular son efectuadas manualmente por el maquinista, desde el puesto de mando de la estación de Bulnes.

4.3. Maquinaria de accionamiento

Todo el sistema de accionamiento del funicular está situado en la estación superior de Bulnes, en una sala de máquinas prevista especialmente para ello, situada por debajo del nivel de la estación, como ya se ha indicado anteriormente.

El sistema consiste básicamente en una polea motriz y dos de reenvío por las que pasa el cable tractor. Todas las poleas están colocadas verticalmente (eje de giro horizontal), siendo la polea motriz accionada por un grupo motor-reductor con los correspondientes acoplamientos intermedios.

El motor es de corriente continua con excitación independiente y ventilación forzada. La regulación tiene lugar sin escalonamiento por medio de rectificadores de corriente estáticos.

El reductor es de engranajes rectos con dos escalonamientos. La reducción es de 20.012. El número de revoluciones del motor con velocidad nominal de marcha de 6 m/s es de 1433 min^{-1} . El número de revoluciones de la polea motriz es de 71.62 min^{-1} .

Entre el reductor y el árbol de transmisión de la polea motriz, se ha previsto un acoplamiento dentado que compensa las tolerancias entre el accionamiento y el árbol. La polea motriz es de doble garganta, y está revestida en su interior con material antifricción. Dispone de un disco de freno sobre el que actúan las mordazas del sistema de frenado mecánico.

4.4. Freno de maniobra y emergencia

El funicular se detiene normalmente reduciendo a cero el número de revoluciones del motor de accionamiento.

Adicionalmente, existe un sistema de doble frenado mecánico, para maniobra y emergencia respectivamente, que actúa directamente sobre el disco mecanizado de la polea motriz mediante sendas zapatas de accionamiento hidráulico. En caso de avería, se reemplaza el frenado eléctrico por este freno mecánico, ejecutado en primer lugar por el freno de maniobra. En caso de una avería de éste, entra en acción el freno de emergencia.

Ambos frenos son de seguridad positiva, mediante muelle antagonista. El grupo hidráulico es común para ambos pero los elementos de accionamiento son independientes.

El freno de maniobra está ejecutado como freno de regulación, a saber en caso de frenado la deceleración se mantiene constante, independientemente de la carga.

El freno de emergencia está ejecutado como freno escalonado con dos grados de frenado, a saber se frena con la fuerza correspondiente dependiendo de la carga, dentro de unos límites prefijados, evitando con ello un sobrefrenado.

Durante la actuación del freno de emergencia, se actúa de forma idéntica sobre el de maniobra, por redundancia.

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

4.5. Suministro de energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica en la zona, lo realiza Hidroeléctrica del Cantábrico desde la Central de Poncebos a una tensión de 16 kV. El Centro de Transformación propio de la instalación está situado en la estación superior (Bulnes), y su alimentación se realiza a través de una única línea de cable dispuesta por el interior del túnel. Esta línea está compuesta por tres cables unipolares de aluminio de 95 mm² tipo DHZ1 para 16 kV, colocados en una bandeja aislante fijada al hastial izquierdo (en sentido ascendente) a todo lo largo del túnel. Tanto los cables como la propia canaleta son de características ignífugas (autoextinguibles). La protección de esta línea se encuentra en la propia Central de Poncebos.

El centro de transformación está ubicado dentro de la propia estación superior, a unos 20 m de la salida al exterior. El transformador principal es de 630 KVA y es de tipo seco, con dos salidas en el secundario, una a 1000 V y otra a 400 V. El transformador lleva las correspondientes celdas de protección y medida. Existe una celda de seccionamiento disponible para una línea de salida a 16 KV para un posible suministro al pueblo de Bulnes.

La salida de 400 V acomete las instalaciones de la estación superior y los motores del funicular. La otra salida del secundario a 1000 V se conduce de nuevo por el interior del túnel, hasta la estación inferior de Poncebos, donde alimenta un transformador auxiliar de 50 KVA para servicio de las instalaciones de esta estación. La línea descendente de 1000 V está compuesta por un cable de 4x25 mm² de cobre tipo RV para 0.6/1 KV, que va alojado dentro de un compartimento independiente de la canaleta antes indicada. Este cable también es de tipo autoextinguible.

En ambas estaciones existen los cuadros de distribución de BT correspondientes a los distintos servicios existentes en cada una de ellas, y que son los siguientes:

Estación de Bulnes

- Circuito nº 1 con tres salidas: toma de corriente trifásica (T.C.T.), toma de corriente monofásica (T.C.M.) y polipasto.
- Circuito nº 2, con una única salida al alumbrado del túnel (mitad superior).
- Circuito nº 3 con siete salidas: servicios comunes, alumbrado estación (1), alumbrado estación (2), alumbrado emergencia de la estación, alimentación control, alumbrado exterior y una de reserva

Estación de Poncebos

- Circuito nº 1: de este circuito salen tres líneas, toma de Corriente trifásica (T.C.T.), toma de corriente monofásica (T.C.M.) y la del polipasto.
- Circuito nº 2: de este circuito sale una sola alimentación destinada al alumbrado del túnel (mitad inferior).
- Circuito nº 3: de este circuito salen siete líneas: servicios comunes, dos líneas de alumbrado de la estación, alumbrado de emergencia de la estación, alimentación de control, alumbrado exterior y reserva.

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

4.6. Alumbrado

Se dispone de alumbrado permanente a lo largo de toda la longitud del túnel. El alumbrado está compuesto por luminarias fluorescentes situadas aproximadamente cada 25 m y colocadas en el hastial derecho del túnel (sentido ascendente), justo encima de la pasarela de servicio y emergencia.

Por razones de caída de tensión, la mitad superior de la instalación de alumbrado se alimenta desde la estación de Bulnes y la mitad inferior desde la de Poncebos. Todas las luminarias del túnel disponen de baterías internas, lo que las hace también servir como alimentación de emergencia, con una autonomía de 2 horas.

4.7. Equipo de coches

4.7.1. Generalidades

Para el transporte de pasajeros se usan dos vagones que circulan en servicio vaivén entre las estaciones inferior y superior (un vagón en cada sentido). Los vagones disponen de 28 plazas sentadas, y admiten también pasajeros de pie, siendo la previsión actual de que el número total de pasajeros sea 48. Los asientos están situados en las paredes del vagón, de forma que pueden ser plegados hacia arriba en caso necesario. En todo caso la carga máxima a transportar es de 4.800 Kg por vagón.

Para el transporte de mercancías se puede utilizar un vagón de carga, consistente en una mesilla sin superestructura, que está previsto para este uso, y que se monta en la vía acoplado a uno de los vagones de personas por el lado de la montaña. En este caso, el transporte simultáneo de pasajeros sólo es posible en función de la carga útil total, que no debe sobrepasar en ningún caso los 4.800 Kg mencionados.

4.7.2. Características técnicas

Los vagones están contruidos en chapa de aluminio sobre una estructura de acero que dispone de dos rodámenes. Las ruedas de un lado exterior no tienen pestaña y son más anchas, para permitir tomar los cambios de vía en la zona de cruce. El cable va unido a la estructura o chasis principal mediante un casquillo cónico y un manguito de fundición realizado "in situ".

Las principales dimensiones de los vagones de personal son las siguientes:

- Longitud exterior	9000 mm
- Altura exterior	3300 mm
- Anchura exterior	2400 mm
- Anchura interior	2200 mm
- Longitud interior	7000 mm
- Superficie	15,4 m ²
- Número de puertas	2 (una a cada lado)
- Vano de las puertas	1300 mm

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

- Altura interior de las puertas 2100 mm

Las paredes del interior de los vagones está revestidas hasta la altura de las ventanas con una moqueta de material ignífugo. Las ventanas tienen cristales de seguridad.

El piso está construido con chapa de aluminio y forma escalones de las mismas dimensiones que los existentes en los andenes de las estaciones.

Las puertas son de dos hojas, tipo corredera, y su accionamiento es eléctrico.

4.7.3. Alumbrado

Los coches de pasajeros dispones de alumbrado de túnel, con focos, y de alumbrado interior, todo con lámparas de 24 V que se alimentan desde baterías montadas sobre los propios vagones y que se cargan en las estaciones por medio de terminales de conexión automáticos.

4.7.4. Comunicaciones

Los vagones disponen de comunicación telefónica con ambas estaciones, así como de un sistema de megafonía que permite realizar anuncios y avisos desde los puestos de mando de dichas estaciones. Ambos sistemas son independientes. Las comunicaciones entre las estaciones y los coches se realizan mediante un sistema sin contacto de tipo inductivo consistente en un cable de señal tendido a todo lo largo del túnel junto a un carril, y a una antena situada en la base del vagón. Por este cable circulan además todas las señales de mando entre los distintos PLCs del sistema de control.

4.7.5. Frenos de emergencia

Cada vagón lleva incorporado, junto a la rueda superior con pestaña, un sistema doble de frenado de emergencia consistente en dos mordazas independientes que cierran sobre la cabeza del carril. Las mordazas son de seguridad positiva y funcionan actuadas por un muelle mecánico, manteniéndose normalmente abiertas por un sistema de accionamiento hidráulico.

El grupo hidráulico del sistema de frenado funciona a base de aceite mineral e incluye una bomba cuyo motor está alimentado por las baterías del vagón, y un acumulador a presión de 4 l. El volumen total de aceite en el circuito es de 15 l.

4.7.6. Sistemas de seguridad

a) Sistemas automáticos

El vagón incorpora un sistema de seguridad electrónico compuesto por dos autómatas programables (PLCs) que se comunican con los existentes en el puesto de mando principal (Bulnes) y en el auxiliar (Poncebos), y que realizan una serie de funciones a nivel local, tales como el enclavamiento de la apertura de puertas, ... etc.

También a nivel del propio vagón, existen dos sistemas de emergencia automáticos principales, que hacen actuar de forma directa e independiente los frenos de emergencia:

1. Disparo por sobrevelocidad: Este sistema se basa en un tacómetro eléctrico acoplado a uno de los rodámenes.

FUNICULAR DE BULNES

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

2. Detección de cable flojo: Este es un sistema que detecta la falta de tensión en el cable de tiro, por ejemplo en caso de rotura de éste, o bloqueo del vagón. La actuación de este dispositivo sobre los frenos está duplicada, mediante un accionamiento eléctrico y otro mecánico.

Aparte de estos dos sistemas principales, existe otro dispositivo de protección automática que detecta si el cable se sale de las poleas de guiado existentes a lo largo del túnel, actuando también en ese caso la parada de emergencia. Este dispositivo se basa en medir la resistencia eléctrica entre el cable y tierra, ya que el cable va aislado eléctricamente de tierra en toda su longitud, incluyendo poleas, enganches, ..etc. También existen una serie de detectores en la vía y en la estación superior que sirven para delimitar la posición de los vagones y como interruptores de final de carrera. Los que van asociados a funciones de seguridad (zona de frenado, final de vía, ... etc.) están duplicados por redundancia.

b) Sistemas manuales

Existe en el interior del vagón un pulsador de parada de emergencia, que actúa sobre el sistema de frenado. El pulsador es bien visible y está adecuadamente identificado. También existe un mando manual de apertura de puertas que actúa independientemente del sistema automático, y que es operativo incluso en caso de fallo de tensión o del sistema de control automático.

Se ha dispuesto también un extintor y un botiquín en el interior de cada vagón. Los cristales de las ventanas son de seguridad, como ya se ha mencionado anteriormente.

4.7.7. Vagón de carga

Se dispone de un vagón de carga para transporte de hasta 4800 Kg, que puede engancharse a uno de los vagones de pasajeros en el lado de montaña. Sus características principales son:

Longitud	5500 mm
Anchura exterior	2400 mm
Carga útil máxima	4800 Kg

En todo caso, las combinaciones de carga posibles serán aquellas cuya suma de pesos sea inferior o igual a 4800 Kg entre carga y pasajeros.

4.8. Cable

Como cable tractor se utiliza un cable trenzado galvanizado de un diámetro de 20 mm y un diámetro de alambre máximo de 2 mm en las vueltas superiores. El cable es del tipo 6x19S con alma de fibra de polipropileno, y tiene un peso por metro lineal de 1,43 Kg. La resistencia nominal de los alambres es de 1770 MPa, y la carga mínima de rotura del cable es de 240 KN.

La longitud total del cable es de 2350 m.